الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Boudiaf- M'sila
Faculté des sciences et de la technologie
Département de Génie Civil
Réf :..............................

جـــامعة محمــــد بوضياف المسيلة
كليـــــــة العلـــــوم والتكنولوجيـــــا
قســـم الهندســـة المدنيــــة
المرجع ....

1985
جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Master en : génie civil
Option : matériaux

Thème

Micro-Béton à base de sable mixte (sable de dune et sable concassée) avec poudre de marbre et adjuvant

Etudiantes :
BOUDJEMAA. Yamina
DJILANI. Souad

Encadreur :
Dr : MAZA .Mekki

CO-Encadreurs :
Dr : Zitouni .Salim
Pr : Naceri .Abdelghani

Université de M'sila

2018/2019

Remerciements

Nous sommes heureux de remercier tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémorandum:

Nous voudrions exprimer nos sincères remerciements au Dr Maza Mekki, Directeur de la présente note, pour ses conseils avisés lors de la préparation de ce travail.

Nous voudrions exprimer nos sincères remerciements au professeur Nacri Abdel Ghani pour avoir guidé cette lettre.

Nous voudrions remercier tous ceux qui nous ont aidés dans laboratoire en béton de la Faculté de technologie de M'sila.

Nous remercions également chaleureusement les membres du jury

Nous remercions particulièrement les parents et notre famille aimante pour leur soutien moral et financier, nos amis qui ont fait preuve de patience, en particulier leur grande générosité et leurs encouragements, qui nous ont donné la force et la patience nécessaires pour écrire cet humble travail.

Dédicace

Au nom de Dieu le clément et le miséricordieux

et de fidélité,

je dédie ce présent mémoire :

A la mémoire des deux êtres les plus précieux et

plus chers au monde :

Mon PERE et ma MERE

A mes chers frères et sœurs.

A tous mes amis proches ou loin.

A tous ceux que j'aime.

Yamina

Dédicace

Au nom de Dieu le clément et le miséricordieux

et de fidélité,

Je dédie ce modeste travail:

A mes très chers parents,

A mes chers frères et sœurs,

A ma cher grande famille,

A tous mes amis proches ou loin.

à tous ceux qui sont chers, et trouvent leurs place dans mon cœur.

Souad

Résumé

Le béton est le matériau le plus économique et, par conséquent, le plus utilisé dans le domaine de la reconstruction. Il répond aux normes de résistance mécanique et de durabilité.

Plusieurs solutions ont été utilisées pour atteindre des résistances meilleures et des durées de vie assez importantes.

La valorisation et le recyclage des déchets issus de l'industrialisation des matériaux (déchets généré par les carrières de concassage, les déchets de marbre sous forme de poudre issue du façonnage du marbre,…,etc) dans le béton et mortier est d'actualité mondiale.

L'objectif de cette recherche est d'améliorer les propriétés physiques et mécaniques du micro béton. Où nous avons mis en œuvre un sable mixte en remplaçant une partie du sable de dune par sable concassée avec différentes proportions (40%, 50% et 60%) pour corriger la granulométrie du sable de dune (qui renferme une quantité élevée de fine) et améliorer la cohésion entre les grains de sable et améliorer l'adhérence de pâte de ciment-grains. L'ajout de 16% de poudre de marbre a réduit la porosité de la matrice cimentaire et l'introduction du MEDAPLAST SP 40 a réduit l'eau de gâchage ce qui a conduit à une meilleure résistance du micro béton.

ملخص المذكرة

لخرسانة هي المادة الأكثر اقتصادا ، وبالتالي الأكثر استخداما في مجال إعادة الإعمار. إنه يفي بمعايير القوة الميكانيكية والمتانة .
تم استخدام العديد من الحلول لتحقيق مقاومة أفضل وعمر افتراضي طويل.
يتم استرداد وإعادة تدوير النفايات الناتجة عن تصنيع المواد (النفايات الناتجة عن محاجر التكسير ، نفايات الرخام في شكل مسحوق من تشكيل الرخام ، وما إلى ذلك) في الخرسانة والملاط الحالي العالم.
الهدف من هذا البحث هو تحسين الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة الدقيقة. حيث قمنا بتطبيق رمال مختلطة عن طريق استبدال جزء من الكثبان الرملية بالرمل المكسر بنسب مختلفة (40 ٪ و 50 ٪ و 60 ٪) لتصحيح حبيبات رمل الكثبان الرملية (التي تحتوي على كمية عالية من الغرامة) وتحسين التماسك بين حبيبات الرمل وتحسين الالتصاق بمعجون الحبوب الأسمنتية. أدت إضافة 16٪ من مسحوق الرخام إلى تقليل مسامية المصفوفة الأسمنتية وإدخال MEDAPLAST SP 40 إلى تقليل ماء الخلط الذي أدى إلى مقاومة أفضل للخرسانة الدقيقة.

Abstract

Concrete is the most economical material and, therefore, the most used in the field of reconstruction. It meets the standards of mechanical strength and durability.
Several solutions have been used to achieve better resistances and fairly long lifetimes.
The recovery and recycling of waste resulting from the industrialization of materials (waste generated by crushing quarries, marble waste in the form of powder from the shaping of marble, etc., etc.) in concrete and mortar is current World.

The objective of this research is to improve the physical and mechanical properties of the micro concrete. Where we have implemented mixed sand by replacing a portion of sand dune by crushed sand with different proportions (40%, 50% and 60%) to correct the granulometry of dune sand (which contains a high amount of fine) and improve the cohesion between the sand grains and improve the adhesion of cement-grain paste. The addition of 16% of marble powder reduced the porosity of the cement matrix and the introduction of MEDAPLAST SP 40 reduced the mixing water which led to a better resistance of the micro concrete.

Sommaire

Etude expérimentale

Chapitre II: Caractéristiques des matériaux utilisés

Chapitre III: Résultats et discussion

Liste des figures

Chapitre I: Généralités des matériaux

Chapitre II: Caractéristiques des matériaux utilisés

Chapitre III: Résultats et discussion

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Le béton est le matériau le plus utilisé dans le domaine de la construction, ses performances ne cessent de s'améliorer, en l'occurrence les résistances mécaniques et la durabilité. Le développement de tel béton passe en générale par l'utilisation d'adjuvant et additions.

Le micro béton se différencie du béton ordinaire par l'utilisation des pierres concassées de fraction 3/8 mm. Ces bétons se distinguent également par leurs propriétés à l'état frais et leur mode de mise en œuvre.

Dans cette étude, nous avons utiliser la poudre de marbre comme ajout dans la matrice cimentaire et l'addition d'un adjuvant (MEDAPLAST SP 40) dans le but d'améliorer les caractéristiques rhéologiques et mécanique du micro-béton, la poudre de marbre (addition minérale) est une poudre de récupération, issue des déchets de coupes de marbre qui cause un grand problème de pollution, alors son utilisation comme ajout nous permet de contribuer à la préservation de la nature de ce déchet. Cet ajout de déchet de marbre présente donc un intérêt économique certain. Et à travers cette investigation nous avons obtenus des résultats satisfaisants.

Dans ce travaille de recherche, nous avons réalisé des sables mixtes en substituant une partie du sable de dune par sable concassé avec différent pourcentage pour améliore la granularité du sable de dune et augmenter la cohésion du sable mixte et améliorer l'adhérence pate ciment granulats ainsi les caractéristique physico mécanique du micro béton sont améliorées .

Objectif de l'étude :

1. Amélioration des caractéristiques mécaniques et physiques du micro béton par les différentes ajouts (sable concassée, poudre de marbre, adjuvant), l'ajout du sable concassée au sable de dune améliore la granulométrie, la cohésion, baisse de porosité entre les grains et augmentation de l'adhérence pate ciment –grains et l'adjuvant baisse le rapport E/C ainsi la maniabilité et la résistance mécanique du micro béton sont améliorée.

2. Contribution à la préservation de l'environnement par recyclages des déchets industriels comme la poudre de marbre générée par le traitement du marbre.

Organisation du mémoire :

Le contenu du mémoire englobe les chapitres suivants :

Au cours de cette étude, trois chapitres constituent le mémoire. Le premier chapitre consiste de recherche bibliographique traite les différents matériaux constituants le micro béton.

Le deuxième chapitre est basé sur l'étude des caractéristiques des matériaux utilisé dans les micros bétons et le dernier chapitre, l'interprétation des résultats des essais.

Chapitre I

Généralités des matériaux

CH I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR

LE BETON ET SES CONSTITUANTS

1- Introduction :

Dans ce chapitre, on présente une revue générale en ce qui concerne l'historique les propriétés principales du béton et de ses constituants et les différents ajouts et adjuvants chimiques qui sont souvent utilisés. Cela concerne l'objectif de cette présente thèse.

A) Béton

I.1. Historique du béton:

Le béton avait pris ses pas après le mortier. Il est à noter que le mortier serait très ancien, citant les colonnes d'Egypte, en pierre artificielle qui date de 3600 ans avant notre ère. Les plus anciens mortiers reconnus sont ceux des maçonneries de remplissage, des pyramides et ceux des citernes et de tombeaux étrusques. Ce sont les Romains qui développèrent l'art des mortiers de chaux grasses, en y associant la pouzzolane (cendre du Vésuve à Pouzzoles) pour la prise hydraulique et qui en fixèrent la technique. Dans cette période, du règne de la chaux grasse, à durcissement trop lent pour permettre la tenue du béton en élévation, il ne fut employé que pour les aires (routes, dallages, planchers...) et les fondations.

Vicat obtient systématiquement les chaux hydrauliques en 1818 en partant de calcaires argileux. Le ciment ne fut utilisé qu'à partir du milieu du XIXème siècle pour les bétons en élévation.

En l847 Coignet exécuta, le premier immeuble en béton coffré, puis des pièces moulées, et en 1852 un plancher avec poutrelles en fer et en béton coulé (terrasse à Saint- Denis).

Le béton armé de fers ronds apparut en 1848, avec le bateau Lambot, Le béton armé s'est étendu ensuite à toutes les constructions portantes chargées. Entre 1930 et 1950, on construit les premières réalisations en béton précontraint. Ce nouvel essor est apporté par Eugène FREYSSINET.

Les premières études systématiques sur les bétons eurent lieu en France et sont dues aux Ingénieurs des Ponts et Chaussées.

Les travaux de R.Féret sont considérables. En 55ans, il donne près de 200 publications sur les liants, les mortiers, les bétons, mais son étude de 1892. Complétée par celle de 1896 et qui n'a pas de correspondance nulle part, était déjà déterminante pour la découverte des lois du béton.

En 1925 Bolomey propose une loi continue qui reprend celle de Ful1er sur la granulométrie et composition.

Le Clerc du Sablon en 1927 a fait une étude de résistance liée à la compacité du béton.

En 1937, A.Caquot met en évidence l'effet de paroi des moules. En 1940, R.Valette a fait une étude de la résistance des bétons en fonction du rapport gravier / sable.

En 1942, Faury donna une étude générale du béton et proposa une nouvelle granulation type, variante assouplie des granulations continues antérieures.

Actuellement, les recherches et les études sur les bétons ne cessent d'évoluer, dans le but d'améliorer leurs performances et aussi pour les rendre plus économique [1].

I.2. Définition du béton:

Le béton est un composite qui résulte d'un mélange intime de ciment, de granulats, d'eau et parfois, d'ajouts minéraux et de faible quantité d'adjuvant. Ces constituants sont dosés de manière à obtenir, après le durcissement, un produit solide dont les capacités de résistance dépassent celles des meilleures roches naturelles.[2]



Figure I.1: le béton

I.3. Les composants du béton :

Le béton est un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, sable, gravier et, le plus souvent, adjuvants qui constituent un ensemble homogène. Les composants sont très

différents : leurs masse volumiques vont, dans les bétons courants, de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m3 ; les dimensions de leurs grains s'échelonnent de 0.5 µm (grains les plus fins du

ciment) à 25 mm (gravillons). Mais cette liste s'allonge très vite dès que des propriétés particulières sont visées, on utilise alors des fines complémentaires ou additions minérales [3].

I.4. Propriété du béton :

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

- Le béton frais: mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau, se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en œuvre dans son coffrage.

- Le béton durci : solide dont les propriétés de résistance mécanique et de durabilité s'acquièrent au cours du déroulement de réactions physico-chimiques entre ses constituants, d'une durée de quelques jours à quelques semaines.[4]

I.4.1. Propriétés du béton frais :

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité qui est la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage complet du ferraillage.

L'ouvrabilité doit être telle que le béton soit maniable et qu'il conserve son homogénéité.

Elle est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais. Dans le cas de béton ordinaire elle est principalement influencée par :

-La nature et le dosage du liant.

-La forme des granulats.

-La granularité et la granulométrie.

-Le dosage en eau.

L'ouvrabilité peut s'apprécier de diverses façon et en particulier par des mesures de plasticité.

Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. Nous n'en citerons que quelques-uns, les plus couramment utilisés dans la pratique. [4]

a) Affaissement au cône d'Abrams :

Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais où ce dernier est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône. Lorsque

le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance.

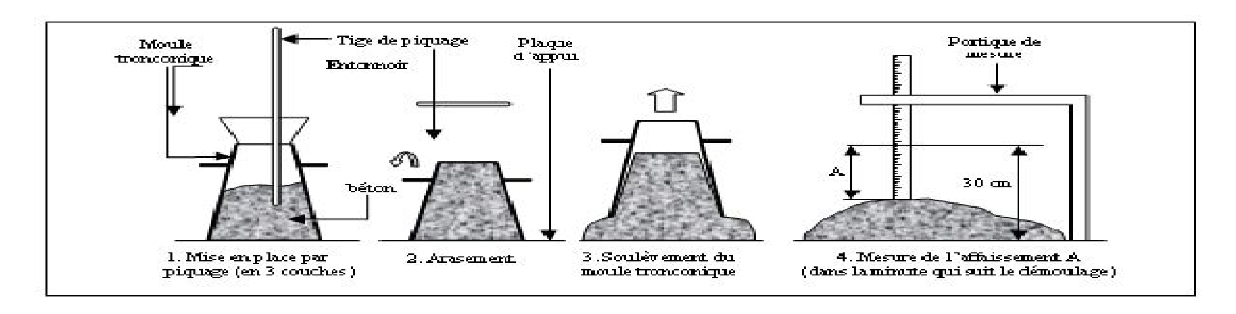


Figure I.2 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams.

a) La masse volumique du béton frais :

On mesure la masse volumique du béton frais à l'aide d'un récipient étanche à l'eau et suffisamment rigide. Le béton est mis en place dans le récipient et vibré à l'aide d'une aiguille vibrante, une table vibrante ou un serrage manuel en utilisant une barre ou tige de piquage, après un arasement approprié. Le récipient et son contenu doivent être pesés afin de déterminer la masse volumique qui sera calculée en utilisant la formule suivante : [4]

$$D = (m2 - m1) / V$$

- D : est la masse volumique du béton frais (kg/m3)

- m1 : est la masse du récipient (kg).

- m2 : est la masse du récipient plus la masse du béton contenu dans le récipient (kg).

- V : est le volume du récipient en mètre cube (m3).



Figure I.3 : Béton frais.

I.4.2. Propriétés du béton durci :

Lorsque le béton a durci, sa forme ne peut plus être modifiée mais ses caractéristiques continuent d'évoluer pendant de nombreux mois, voire des années parmi les propriétés essentielles on cite :

- La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est une caractéristique déterminante pour sa durabilité.

- Une bonne résistance à la compression est la performance souvent la plus recherchée pour le béton durci.

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression uni

-axiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydratée. De plus, la résistance du béton en compression est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité.[4]

Un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours, fc28. La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression est calculée.

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$fc = F/Ac$$

Où :

- fc : résistance en compression, exprimée en méga pascal (Newton par millimètres carrés)

- F : charge maximale, exprimée en Newtons

- Ac : l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée,

  calculée à partir de la dimension nominale de l'éprouvette.

- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton.

- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être

mesurées.[4]

I.5. Différents types de béton :

-Le Bétons prés à l'emploi.

- Le béton armé.

- Le béton fibré

- Le béton précontraint.

-Les bétons hauts performances

- Le béton projeté.

- Les bétons auto compact, auto plaçant, auto nivelant.

- Les bétons caverneux.

- Le béton décoratif. [5]

I.6. Formulation du béton :

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des granulats, où l'on dispose le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités sont celles recherchées pour la construction de l'ouvrage désiré. Généralement les qualités recherchées avec une telle composition sont : Une consistance adaptée à sa destination. Des qualités de résistance à différentes échéances, le plus souvent à 28 jours. Des qualités de durabilité qui conduisent à imposer un dosage minimum en ciment et un rapport E/C maximum.

On peut conclure que la formulation d'un béton doit permettre de respecter les qualités de consistance et de résistance aux moindres coûts possibles. Plusieurs méthode de formulation ont été élaborées par : ABRAMS, BOLOMEY, CAQUOT, FAURY…etc.

Mais, dans notre cas, nous avons choisi la méthode (scramtaive) parce qu'elle a l'avantage d'être issue de nombreuses formulations ayant été testées sur chantiers et ayant donné une satisfaction, d'une part, et d'autre part, elle est très simple à utiliser puisqu'elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés .[6]

I.7. La porosité du béton :

La porosité est le rapport du volume vide au volume total. $Po = Vv / Vt$.

- Cette porosité gouverne de nombreuses propriétés du béton/mortier : Presque toutes les caractéristiques mécaniques, Ainsi plus la porosité diminue, plus la résistance à la compression augmente et plus la perméabilité diminue. [7]

L'approche LCPC développée en France au LCPC par **Larrard et Sedran** est basée sur le modèle d'empilement compressible qui passe par l'optimisation de la porosité du système formé par les grains solides, d'après les auteurs, un arrangement optimal du squelette granulaire permet d'obtenir une meilleure résistance et une plus grande ouvrabilité. Le modèle permet de prévoir la compacité du squelette granulaire à partir des caractéristiques des constituants telles que la densité apparente,

les proportions du mélange, les distributions granulaires et la compacité propre. Les auteurs ont modélisé le comportement à l'état frais du béton à partir de la compacité de son squelette granulaire. [7]

I.7.1.- La réduction de la porosité dépend de la mise en œuvre du béton :

a) dosage en ciment adéquat.
b) une faible teneur en eau.
c) une granulométrie optimale.

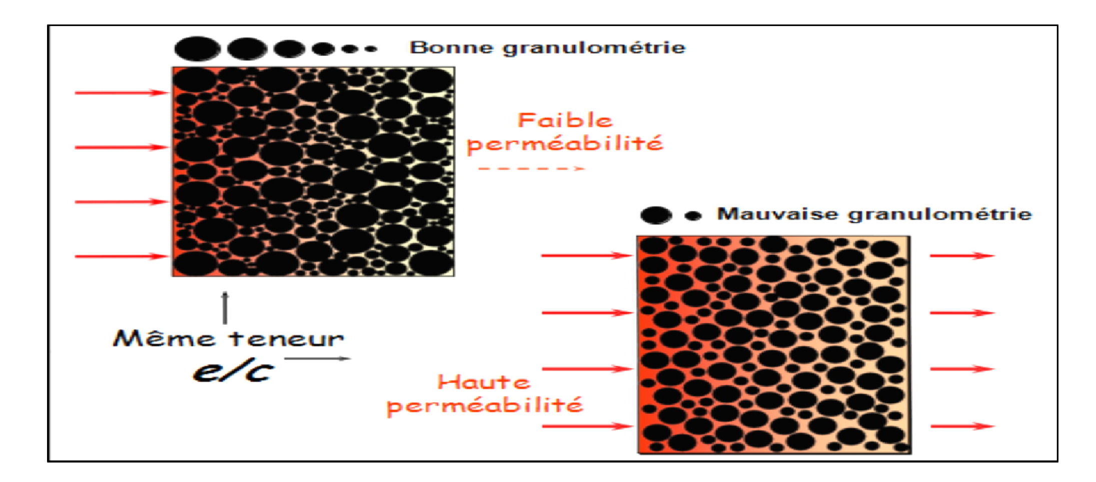


Figure I.4: Améliorer la granulométrique réduit le volume de la pâte, et la porosité totale.

La durabilité du béton est en relation directe avec la pénétration des agents agressifs dans le réseau poreux du béton. La structure poreuse des bétons/mortiers est constituée de pores, capillaires et de pores d'hydrates.

Les cinq (05) principales causes physico-chimiques de dégradation du béton sont :

- La carbonatation,
- L'attaque par les chlorures,
- L'attaque par les sulfates,
- Les cycles gel-dégel,
- L'alcali-réaction.

Conclusion :

Cette partie théorique nous permet de conclure que le béton est un matériau hétérogène dont le choix des composants est en fonction des critères qui lui sont recherchés. Ces critères sont essentiellement les résistances mécaniques et la durabilité, elles dépendent de la porosité et de la qualité de ces composants.

B) constituants du béton et ajouts

I.2. Granulats :

C'est l'ensemble des grains de dimensions comprises entre 0 et 125 mm, peuvent être d'origine naturelle (sables et graviers de mer et de rivières), artificiels (argile expansée) ou issue du recyclage

des déchets de l'industrie (laitier du haut fourneau, déchets de bétons broyés). Ils constituent l'ossature du béton et occupent 70 à 80% environ du volume de ce dernier [NF P 15-010]. [8]

I.2.1. Les type des gros granulats :

On peut citer plusieurs types en fonction de plusieurs critères concernant le granulat lui même.[9]

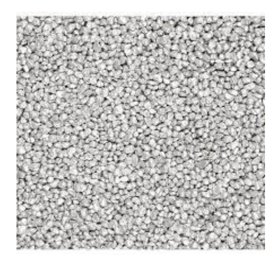
  

Figure I.5: les granulats

I.2.1.1. En fonction de leur masse volumique réelle :

a) Granulats légers:

Ce sont les granulats dont la masse volumique réelle est inférieure à 2 t/m3, comme les argiles, les schistes, les laitiers expansés ou encore les pouzzolanes. Ils sont destinés à la préparation des bétons légers.

b) Granulats courants :

Ce sont les granulats dont la masse volumique réelle est entre 2 et 3 t/m3,comme les matériaux naturels, alluvionnaires (silex, calcaire dur silico-calcaire) de densité entre 2.5 et 2.7, éruptifs ou sédimentaires (grés, porphyres, diorite, basaltes, …etc.) de densité entre 2.6 et 3.

c) Granulats lourds :

Ce sont les granulats dont la masse volumique réelle est supérieure à 3 t/m3. Ils sont essentiellement employés pour la confection des bétons lourds utilisés pour construire des ouvrages nécessitant une protection biologique contre le rayonnement. On utilise en particulier les barytines, les magnétites qui ont une densité entre 3.4 et 5.1, aussi les riblons et les grenailles de fonte qui ont une densité entre 7.6 et7.8.[9]

I.2.1.2. En fonction de leur origine :

a) Les granulats naturels:

Ce sont des matériaux purement naturels, ne subissant aucun traitement autre que mécanique tel qu'extraction, concassage, broyage, criblage, lavage…etc.

b) Les granulats artificiels :

Ce sont les granulats qui proviennent de la transformation thermique de roches, de minerais ou de sous produits industriels (laitiers, scories), ou encore de la démolition d'ouvrages ou de bâtiments divers en béton souvent appelés granulats recyclés.[9]

I.2.1.3.En fonction de la forme de leurs grains :

a) Les granulats concassés:

Ce sont des granulats provenant du concassage des pierres et dont les grains ont une certaine angularité. Ils sont issus du concassage des roches de porphyres, grés, calcaires, quartzites, de galets concassés et de laitiers.

b) Les granulats roulés:

Ils représentent les granulats ayant subis une altération naturelle mécanique due à l'eau, au vent, à l'usure réciproque des granulats lors de leur transportation dans la nature. Il résulte que plus de 90% des surfaces des grains sont arrondies et de provenance alluvionnaire.[9]






Figure I.6: types des granulats

I.2.2.Caractéristiques des granulats:

a) Les Caractéristiques Physiques :

- La masse volumique absolue : C'est la masse d'un mètre cube du matériau, déduction faite de tous les vides entre les grains.

- La masse volumique apparente : C'est la masse d'un corps par unité de volume total, y compris les vides entre les grains et le constituant (volume apparent). Elle dépend de la forme et la granulométrie des grains ainsi que le compactage et d'humidité.

-Absorption.

-Porosité et compacité.

-Teneur en eau. [10]

b) Les Caractéristiques mécanique :

Les caractéristiques mécaniques des granulats sont déterminées par des plusieurs essais tels que :

-Essai Micro Deval (NF P 18-572).

-Essai Los Angeles (NF P 18-573).[10]

I.2.3. Utilistion des granulats :

Les granulats sont utilisés pour la réalisation des : filtres sanitaires, filtres, drains, bétons, remblais routiers, ...

Les deux principales utilisations des granulats sont les bétons et la viabilité, à savoir des couches de roulement des routes et autoroutes, des aéroports et des voies de chemin de fer.

Le béton est aujourd'hui le produit industriel le plus utilisé dans le béton est aujourd'hui le produit industrielle plus utilisé dans le monde. Il peut être mis en œuvre : soit sous forme liquide, le Béton Prêt à l'Emploi (BPE), directement sur les chantiers, dans des coffrages où il fait sa prise, soit sous forme de produits préfabriqués en béton, tels que des parpaings, des tuyaux, des poutrelles, des planchers, des cloisons, des escaliers... [11]

Exemples de Consommation moyenne de granulats par nature d'ouvrage.





Figure I.7: utilisations des granulats

I.2.4.Classification des granulats :

Les granulats sont classés en fonction de leur granulométrie déterminée par analyse granulométrique sur des tamis de contrôle à mailles carrées dans une série normalisée. Ils sont désignés par d et D qui représentent respectivement la plus petite et la plus grande des dimensions des grains constituant le granulat.ils sont appelés fillers, sables, sablons, gravillons, cailloux, ou graves selon leur classe granulaire d/D ou 0/D lorsque d est inférieur à 1 mm. C'est l'appellation commerciale des produits.[9]

I.2.5. Stockage et livraison :

En fin de traitement, une fois réduits, traités et classés, les granulats sont acheminés vers les aires de stockage, soit sous forme de tas individualisés, soit en trémies ou silos. Différents moyens de transports (trains, camions, ou péniche) permettent ensuite de les livrer à la clientèle.ils peuvent être travailles sur place dans le cas de centrale à béton ou d'une centrale d'enrobage au bitume, sur le site même de la carrière.[9]

I.2.6. Contrôle et assurance de la qualité :

Tout au long du processus de fabrication, on procède à des opérations régulières de contrôle de qualité portant sur différents paramètres (dureté, calibrage, propreté, respect des normes…….etc.)

Le contrôle qualité est la vérification de la conformité aux spécifications faites par le producteur, ces règles permettent au fournisseur de vérifier la conformité de ses produits aux spécifications, et permettent à l'acquéreur de vérifier la conformité d'un lot aux spécifications. L'assurance qualité peut être apportée par la certification.[9]

I.2.7. Les Propriétés des granulats pour béton :

Un granulat de bonne qualité influence de manière essentielle les caractéristiques du béton de par ses propriétés, telles que la forme, l'état de surface, la masse volumique et la résistance à la compression des grains, ainsi que par sa granularité. Selon l'usage prévu d'autres propriétés comme la couleur, la provenance, le comportement spécifique vis à vis des radiations ionisantes, la dilatation thermique en cas d'incendie ou de températures élevées de service, la résistance aux acides, etc. peuvent relever d'une importance particulière pour le respect de certaines exigences.[12]

I.2.8. Normes de référence :

Les granulats comme la grande majorité des matériaux de construction doivent être conformes à des normes. Les granulats constituent le squelette du béton, la régularité de leurs caractéristiques conditionne donc celles du béton. Les granulats pour bétons font l'objet de deux principales normes de référence.[13]

I.2.8.1. La norme NF EN 12620 (août 2003):

Cette norme définit les termes relatifs aux granulats pour béton relevant de la Directive des

Produits de Construction (DPC 89/106/CE). Elle définit des catégories pour chaque caractéristique des granulats et des fillers utilisés dans la fabrication des bétons. Les constituants du béton peuvent être élaborés à partir de matériaux naturels, artificiels ou recyclés. Elle concerne en particulier les bétons conformes à la norme NF EN 206-1, les granulats entrant dans la composition des produits préfabriqués en béton et les bétons routiers. Elle spécifie les caractéristiques (physiques et chimiques) relatives à l'évaluation de la conformité des granulats et au système de maîtrise de la production.[13]

I.2.8.2. La norme XP P 18-545 (février 2004) :

Granulats éléments de définition Conformité et codification:

Cette norme définit les règles générales permettant d'effectuer les contrôles des granulats.

Elle regroupe en codes les catégories définies dans la norme NF EN 12620 pour les divers usages possibles granulats pour chaussées (couches de fondation, de base et de liaison, couche de roulement utilisant des liants hydrocarbonés et bétons de ciment), granulats pour bétons hydrauliques et mortiers, granulats pour voies ferrées (assises et ballast). Elle précise les critères de régularité et de conformité et fournit les Fiches Techniques Produit.[13]

I.3. Le granulat fin (sable) :

Le sable est un élément essentiel entrant dans la composition du béton. Son utilisation permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire entre le ciment et le gravier pour une meilleure cohésion du béton. La demande sans cesse croissante sur les granulats a provoqué un épuisement rapide des sabliers et une exploitation anarchique des sables de mer causant ainsi un grave préjudice à l'équilibre de l'environnement à proximité des plages en ayant des répercussions directes sur les ressources naturelles, l'érosion des berges d'oued et l'avancée de mer.

Le sable peut avoir une origine naturelle ou artificielle ; d'origine naturelle, il provient de la désagrégation naturelle de roches au cours de leur processus d'érosion, artificiel, il est obtenu par broyage de roches massives après des opérations de concassage et de criblage, il est appelé aussi sable de carrière, il est caractérisé par des grains aux aspérités marquées. La composition du sable varie d'un endroit à l'autre selon la nature des roches. Dans l'industrie du verre, de la fonderie et d'autres domaines, le sable recherché est celui qui a une grande teneur en silice un bon classement et des grains arrondis ou subarrondis sont appelés sables siliceux ou sables industriels.[14]

I.3.1. Les différents constituants du sable :

Le sable comporte différentes variétés de minéraux qui sont dérivés de l'élément de base le silicium (Si). Ces principaux minéraux sont classés comme suit : silice, silicates (famille la plus abondante dans la nature, plus de 90 % du poids de l'écorce terrestre), argiles et carbonates. Ces dernières se trouvent généralement sous forme de trace dans le sable.

I.3.2. Classification du sable

On peut classer les sables selon dont

- **La granularité :** permet de séparer les sable en trois catégories sont: Sables fins, Sables moyens, Sables grossiers.

- **La propreté et la teneur en fines :** elle est appréciée par la valeur de l'équivalent de sable.

- **La nature minéralogique :** En général, les sables peuvent être classés comme suit: Sables siliceux , Sables silico-calcaires , Sables calcaires. [14]

I.3.3. Les caractéristiques du sable et ses applications :

a) Les caractéristiques du sable :

Les principaux critères utilisés pour caractériser un sable sont sa courbe granulométrique et sa rondeur. D'autres caractéristiques sont la teneur en matières argileuses, en coquillages et chlorures .

Figure I.8: différents types des sables

b) Les principales applications du sable

le sable est utilisé dans plusieurs domaine par exemple : les bétons, la Maçonnerie, les mortiers , Les mélanges bitumeux , l'industrie du verre et Autres usages. [14]

I.4.Le ciment:

Les ciments les plus courants dans le monde du génie civil, sont les ciments à base de clinker Portland, produit obtenu par la cuisson d'un mélange de calcaire et d'argile à 1450°C. Le ciment est un liant hydraulique qui se présente sous la forme d'une poudre minérale fine, s'hydratant en présence d'eau, et forme une pâte qui fait prise et durcit progressivement à l'air ou dans l'eau. Le durcissement du ciment est principalement dû àl'hydratation du silicate tricalcique Un composant majeur du clinker Ciment C'est le constituant fondamental du béton puisqu'il permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide.[15]



Figure I.9: ciment

I.4.1. Pâte de ciment :

La pâte de ciment correspond à l'ensemble ciment, additions, eau efficace, air et adjuvants. La pâte présente à l'intérieur du béton, joue à la fois le rôle de liant et de remplissage. Elle contribue à l'écoulement suivant un processus rhéologique lié essentiellement à sa viscosité. Celle-ci peut être présentée schématiquement comme une suspension de particules colloïdales suspendues dans un liquide newtonien qui est l'eau. Les forces colloïdales et la force de la pesanteur régissent alors complètement ses propriétés macroscopiques [3].

I.4.2. Les différents ciments :

Les ciments peuvent être classés en cinq grandes familles et vingt-sept variantes principales

(voir la norme (en)EN-197-1-2000) pour plus de détails :

- Ciment Portland (noté CEM I) .

- Ciment Portland composé (noté CEM II).

- Ciments de hauts fourneaux (noté CEM III) .

- Ciments pouzzolaniques (noté CEM IV) .

- Ciments au laitier et aux cendres ou ciment composé (noté CEM V) .

- Ciment blanc (différent des précédents par sa composition chimique et la méthode de fabrication).[16]

I.4.3. Fabrication du ciment :

Le ciment est fabriqué à partir de calcaire et d'argile : 80 % + 20 % respectivement. Le ciment est fabriqué (par voie sèche) selon le processus suivant (figure 1):

- Extraction de matière première de la carrière ;

- Concassage primaire de la matière première ;

- Concassage secondaire de la matière première en taille plus petite ;

- Broyage de la matière concassée.

- Dosage et homogénéisation de la farine crue (matière broyée) ;

- Phase de préchauffage de la farine crue (et précalcination) à 850° C, puis la cuisson dans un four rotatif incliné à une température généralement de 1450° C. le produit sortant du four s'appelle le clinker;

- Broyage du mélange : clinker + gypse (≈ 5%) + ajouts éventuels. - Le produit finie (ciment) est prêt alors pour être expédier on sacs en vrac. [16]

I.5. L'eau de gâchage :

Le dosage en eau est un facteur très important de la composition du béton, on bien l'influence qu'il a sur la propriété du béton par les vides créés, lorsque l'eau s'élimine pour différentes raisons (évaporation, combinaison chimique, absorption par les granulats) .
Ce constituant peut en influencer la qualité du béton, en fonction de sa qualité et quantité pour cela il ne doit pas contenir de matière de suspension au-delà des tolérances règlementaires : [15]

-2g/l pour les bétons à haute résistance
-5g/l pour les bétons à faible résistance
L'eau introduite lors du gâchage remplit deux fonctions :
- l'une physique qui confère au béton les propriétés rhéologiques d'un liquide ; - et l'autre chimique qui contribue au développement de la réaction dite d'hydratation.[15]



Figure I.10: l'eau de gâchage

1.6. Les adjuvants:

Un adjuvant est un produit d'addition destiné à renforcer d'une manière définitive certaines qualités ou améliorer certaines caractéristiques d'un béton hydraulique.[17]

Aussi, Les adjuvants sont des produits solubles dans l'eau, qui incorporés aux bétons à des doses qui doivent être inférieures ou égale à 5% du poids du ciment permettant d'améliorer certains de ses propriétés. [18]

Ils fournissent au formulateur de béton une gamme étendue, variée et nuancée de possibilités pour faciliter la mise en œuvre des bétons, adapter leur fabrication par temps froid ou chaud, réduire les coûts de mise en œuvre, améliorer les propriétés des mortiers / bétons durcis, voire même lui conférer des propriétés nouvelles. Il existe plusieurs types d'adjuvant qui sont régis par la norme NF EN 934-2, mais ceux qui conditionnent l'ouvrabilité du béton sont les **super plastifiants**.

- Ces produits ont une influence sur la mise en œuvre du mortier ou sur les réactions chimiques générées par la liaison du mortier.

-On peut classer ces adjuvants en trois principaux groupes agissant sur des propriétés différentes :

- le degré d'hydratation avec les retardateurs de prise.
- la maniabilité et la porosité avec les rétenteurs d'eau et les super plastifiants.
- la résistance vis-à-vis du gel-dégel avec les entraîneurs d'air.

Parmi les divers adjuvants du béton on peut citer :

* Les plastifiants et super plastifiants ou hauts réducteurs.
* Les entraineurs d'air.
* Retardateur de prise.
* Agent de cure interne.
* Antigel.
* Inhibiteur de corrosion.
* Accélérateur de prise et de durcissement.
* Agent réducteur de bullage.
* Agent hydrophobe.
* Hydrofuge de masse.
* Accélérateur de durcissement.

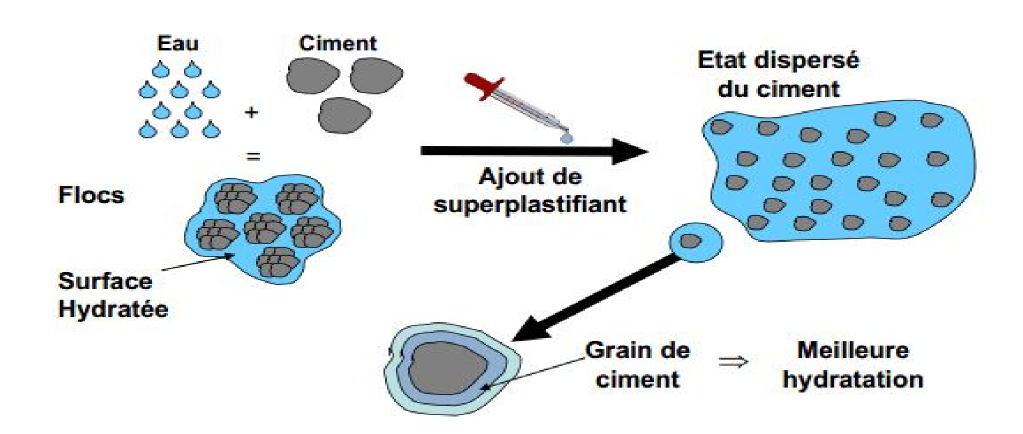


Figure I.11: Mécanisme des floculations avec et sans super plastifiants.

1.7. Les additions « les ajouts »

Dans le domaine du génie civil, le terme « Addition » désigne, à partir des années 1990 une catégorie de produits minéraux utilisés dans la confection des bétons et des mortiers. La plus récente norme européenne EN 206 -1 (septembre 2004), définit les additions comme matériaux minéraux finement divisés et pouvant être ajoutés au béton pour améliorer certaines de ses propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières.

Elle spécifié également qu'il existe deux types d'additions:

- les additions quasiment inertes (type I)

- et les pouzzolanes ou additions à caractère hydraulique latent (type II).

1.7.1. Type des additions :

a) Addition type I (Les ajouts minéraux inertes) :

Les additions calcaires conformes à la norme NF P 18 508.

Les additions siliceuses conformes à la norme NF P 18 509.

Les fillers« fillers siliceux de classe B, C » conforme à la norme NF P 18 501.

Les fillers calcaires : sont des produits obtenus par broyage fin de roches naturelles(calcaires, basalte, bentonite, etc.) Présentant une teneur en carbonate de calcium $CaCO_3$supérieure à 75%. Ces produits désignés dans le commerce comme fillers sont des poudres fines à granulométries contrôlées et dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 µm.

Les fillers se différencient les uns des autres par:

- ✓ leur origine, leurs compositions chimiques et minéralogiques, leurs défauts de structure, les impuretés qui' ils contiennent.
- ✓ leur finesse, la forme des grains, leur état de surface.
- ✓ leur dureté et leur porosité.

Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans les autres cas, le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine.

- Avant 1994 les additions sont plutôt désignées par le terme « ajout ». Ce terme était beaucoup plus utilisé pour les ciments et les ajouts étaient introduits en substitution partielle du clinker lors de la fabrication du ciment. Par contre le terme « additions » était utilisé pour désigné un apport ou une substitution du ciment par des ajouts lors de la

formulation de béton au même titre que les autres constituants du béton (granulats, eau). Seules les additions utilisées dans la fabrication des ciments trouvent une définition qualitative générale dans les normes spécifiques aux ciments (NF P 15-301 1981). [19]

- Actuellement le terme addition selon la plus récentes norme européenne EN 206 -1, seulement les additions de type I et certaines additions de type II, sont répertoriées et font l'objet d'ajout au ciment ou au béton.

- Le terme addition était beaucoup plus associé à l'adjectif ajout minéral. Plusieurs produits qui correspondent à la désignation « additions » pour béton peuvent être considérés comme fines, poudres minérales ou encore récemment fillers.

b) Addition type II (Les ajouts minéraux actifs) :

α- La pouzzolane: Les pouzzolanes sont des matériaux, naturels ou artificiels.

- **i- Pouzzolane naturelle:** Est un produit d'origine volcanique essentiellement composé de silice, d'alumine et D'oxyde de fer ayant naturellement des propriétés pouzzolanique
- **ii- Pouzzolane artificielle:** C'est une matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques .Les roches traitées thermiquement: argiles, schistes, latérite, bauxite.

β- La fumée de silice : Les fumées de silice sont des particules très fines (taille moyenne des graines environ 1µm) présentant une très forte teneur en silice amorphe. Elles proviennent de la réduction de quartz de grande pureté par du charbon dans les fours à arc électrique utilisés pour la production de silicium et d'alliage Ferro silicium.

γ- Le laitier de haut fourneau : ou le laitier broyé comme il voudrait peut-être mieux l'appeler est un sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidi par aspersion d'eau, c'est un matériau comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50 %, de la silice entre 25 à 35%, de l'alumine entre 12 à 30% ainsi que la magnésie et d'autres oxydes en très faibles quantités, tous ces éléments étant pratiquement les mêmes que ceux du clinker.

δ- Les cendres volantes : Les cendres volantes sont des poudres fines constituées principalement de particules vitreuses de forme sphérique, issues de la combustion du charbon pulvérisé en présence ou non de CO^-combustibles, ayant des propriétés pouzzolaniques et composées essentiellement de SiO_2 et de Al_2O_3 ; la proportion de SiO_2réactive constituant au moins 25 % de la masse. [19]

I.7.2. Intérêt d'utilisation des ajouts minéraux :

L'utilisation d'ajouts minéraux dans les industries du ciment et du béton présente des avantages techniques, économiques et environnementaux.

a - Intérêt des points de vue techniques :

* L'incorporation de particules très fines permet d'améliorer sa maniabilité.

* Les ajouts cimentaires améliorent généralement la résistance mécanique, l'imperméabilité et la ténacité aux attaques chimiques.

b -Intérêt des points de vue économiques :

Le ciment est un grand consommateur d'énergie, son remplacement par des ajouts minéraux réduit le prix du béton en utilisant moins de combustible.

c - Intérêt des points de vue environnementaux :

La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique (CO2). En effet, la substitution d'une fraction de clinker permet d'obtenir des ciments aux propriétés mécaniques exploitables, ce qui permet une diminution de rejets de C02.

I.7.3. Intérêt d'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil :

L'introduction des ajouts dans la confection du ciment présente un facteur bénéfique car la consommation en clinker baisse en fonction des taux d'ajouts, est aussi La réaction pouzzolanique étant à base de produits de faible coût et la durabilité est garantie.[20]

* Des sous-produits industriels tels que les cendres volantes et fumées de silice sont des déchets d'usine.

* Les pouzzolanes naturelles n'est pas nécessaire de les pulvériser ou de les soumettre à un traitement thermique avant de s'en servir. Pour des raisons d'épargne d'énergie, il y a tout lieu de croire que l'utilisation de ces matériaux se poursuivra et se développera de plus en plus.

I.8. *Le Marbre:*

Le marbre est une roche métamorphique dérivant d'un calcaire ou d'une dolomie sédimentaire ayant été transformée généralement par métamorphisme régional ou plus rarement par métamorphisme de contact. Dans ce processus de transformation de la roche originelle, les structures sédimentaires sont effacées et la roche carbonatée recristallise en un amas de cristaux de calcite et/ou de dolomie engrenés de dimensions millimétriques à centimétriques. Les intercalations argileuses, les minéraux détritiques ou les oxydes minéraux présents dans le carbonate originel donnent alors au marbre diverses colorations et veinages polychromes du plus grand effet esthétique.[21].

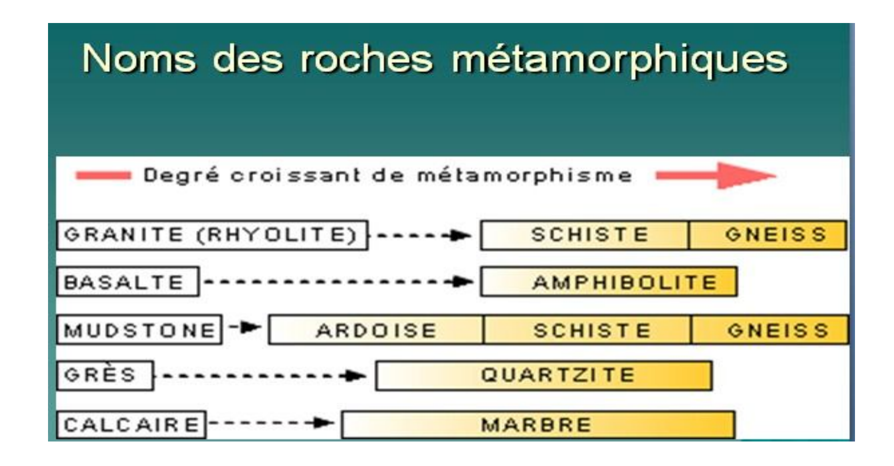


Fig.1.12 : Quelques transformations des minéraux - métamorphisme

I.8.1. La poudre de marbre:

La poudre de marbre est du calcaire ou carbonate de calcium très dur. Sa couleur est d'un blanc pur avec des brillances. Elle est utilisée comme charge dans les peintures et enduits traditionnels, suivant sa granulométrie, dans les enduits fins et les stucs ainsi que le tadélakt. Granulométrie très très fine: 0-25 µm.

Conclusion :

- L'utilisation des fillers calcaires est généralement favorable à l'amélioration de la maniabilité d'un mortier ou d'un béton. Il est alors possible de réduire la quantité d'eau du mélange, entraînant en répercussion une hausse de la résistance c'est l'effet filler. [22].

- Cependant, le prix de ces additions est relativement élevé comparativement aux additions calcaires et siliceuses. D'autant plus que dans les granulats et notamment le sable produits par concassage, les fillers peuvent déjà exister.

Chapitre II

Caractéristiques des matériaux utilisés

CH II- Caractéristiques des matériaux utilisés

II.1 Introduction :

La caractérisation des matériaux de construction nécessite la connaissance de la nature de ses composants. Par ailleurs, la détermination des dosages optimaux, ainsi que l'illustration de certaines interprétations ne pourraient être possible que si les différents constituants sont bien caractérisés.

Des essais physiques, chimiques, et mécaniques ont été effectués au sein du laboratoire de génie civil du département.

Nous présentons les caractéristiques essentielles des matériaux utilisés pour la confection du micro-béton.

II.2 Sable :

Dans cette recherche on a utilisé deux sables de nature différentes et leurs mixture a savoir le sable de dune des abords de Boussaâda et le sable concassé de carrière de la région de M'sila leurs caractéristiques physiques sont présentés ci-après.

Les différentes mixtures de sables utilisées sont présentées dans le tableau II.1 ci-dessous

Tableau II.1 Dénomination des sables mixtes utilisés

Sable mixte	S_c	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_d
Sable de concassé (%)	100	80	60	50	40	20	0
Sable de dune (%)	0	20	40	50	60	80	100

II.2.1. Essais physiques effectués :

II.2.1.1. Masse volumique

a) Masse volumique absolue : *Norme NF P 18-555*

Cet essai est régie par la ***norme NF P18-555***, elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains.

La masse volumique est donnée par la relation **:**

$\rho_s = M_s/V$

Conduite de l'essai :

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1d'eau.

- Peser un échantillon sec **Ms** de granulats (environ 100g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.

- Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume $\mathbf{V_2}$.

La masse volumique est alors : $\boldsymbol{\rho_s = M_S/(V_2 - V_1)}$

b) Masse volumiques apparente : NF P 18-554

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

$$\rho_a = M / V_a$$

L'essai est répété 3 fois pour un volume de 1 litre et la moyenne de ces essais donne la valeur.

Les résultats des essais de la masse volumique apparente ρa et la masse volumique absolue ρs du sable sont regroupées dans le tableau II.2

II.2.2.3 Porosité : (NF P 18-554)

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la relation suivante :

P (%)=100-(Masse volumique apparente / masse volumique absolue) × 100.

II.2.2.4 Compacité :

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est-à-dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

La compacité donnée par la formule :

$$C = 100 - P$$

II.2.2.5 L'indice des vides :

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = V_v / V_s = P / (P-100).$$

Avec P en pourcent (%).

Les résultats de la porosité, compacité et l'indice de vide sont regroupés dans le tableau II.2 :

Tableau II.2 : Caractéristiques physiques des sables étudiés

Dénomination du sable	S_c	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_d
Masse volumique absolu (g/cm^3)	2.57	2.535	2.52	2.55	2.52	2.55	2.5
La masse volumique apparente(g/cm^3)	1.57	1.65	1.65	1.66	1.63	1.64	1.62
Porosité %	38.91	34.91	34.52	34.90	35.32	35.69	35.2
Compacité%	61.09	65.09	65.48	65.1	64.68	64.31	64.8
L'indice de vide %	0.64	0.54	0.53	0.54	0.55	0.55	0.54

II.2.2.6 Equivalent de sable : NF P 18-598 :

Il est défini par la norme *NFP 18-598* ; cet essai d'équivalent de sable, permet de mesurer la propreté d'un sable, il est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fin, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui floculent.

Tableau II.3 : les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable.

E.S à visuel	E.S au piston	Nature et qualité du sable
ES<65	ES<60	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65<ES<75	65<ES<70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75≤ES≤85	70≤ES≤80	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.
E.S≥85	E.S>80	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Principe de l'essai :

• Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à **500** g).

• Prendre une pesée de **120** g.

• Remplir l'éprouvette de solution lavant jusqu'au premier repère (**10**cm).

• A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (**120**g) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.

• Laisser reposer pendant **10** minutes.

• Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer **90** cycles de **20**cm de course horizontale en **30** secondes à la main ou à l'aide d'un agitateur mécanique.

• Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution lavant au dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci.

• Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en impriment en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution lavant atteigne le **2ème** repère. Laisser ensuite reposer pendant **20** minutes.

a) Equivalent de sable visuel (ESV) :

• Après **20** minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieure du floculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.

• Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

ESV = (h_2/h_1) x100

Ou: $h_2 < h_2$ **avec** h_1 : sable propre + éléments fins.

b) Equivalent de sable piston (ESP) :

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.

- Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit $h_2^{/}$ la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.



ESP = $(h_2^{/}/h_1)$ x 100 Où $h_2^{/}$: la hauteur du sable propre

Fig II.1: Essai de l'équivalent du sable

Les résultats d'équivalent de sable des sables de dune et sable concassé sont regroupés dans le tableau II.4

Tableau II.4: Equivalent du sable de Boussaâda

Sable	N° d'essai	h_1 (cm)	h_2(cm)	ESV (%)	$h_2^{/}$ (cm)	ESP (%)
de dune	01	6.8	6.3	92.65	5.8	85.30
	02	6.4	6	93.75	5.5	85.93
	03	6.1	6.7	94.02	5.7	85.07
	Moyenne			91.67		86
Sable concassé	01	11,6	9,4	81,03	10,1	87,07
	02	11,8	9,3	78,81	10,2	86,44
	03	12.9	9,4	72,86	10,5	81,4
	Moyenne			77,67	84,97	

Remarque : le sable de dune et le sable concassé étudiés sont très propre

II.2.2.7 Teneur en eau : NE P 18 555

Le sable à la capacité de retenir une très grande quantité d'eau (peut atteindre 20 à 25 % de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de 0 à 3% on l'appelle sec.

Conduite de l'essai :

✓ Peser un échantillon de sable humide, soit *h M* son poids (**300** g).

✓ Laisser l'échantillon dans une étuve à une température dans l'intervalle de **105**°C à **110** °C pendant **24** heures.

✓ Peser l'échantillon de nouveau, soit Ms son poids.

La teneur en eau du sable de dune et sable concassé sont groupées au tableau II.5

Tableau II.5 : Teneur en eau des sables étudiés

	N° d'essai	M_h(g)	M_s(g)	W(%)	W_{moy}(%)
Sable de dune	01	300	297.6	0.8	0.65
	02	300	298	0.6	
	03	300	298.3	0.56	
Sable concassé	01	300	294,8	1,73	1,70
	02	300	294,5	1,83	
	03	300	295,3	1,56	

II.2.2.8. Analyse granulométrique :(NF P 18-560)

L'analyse granulométriques permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau, elle comprend deux opérations

1. Tamisage.

2. Sédimentation.

La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la

dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau, elle est tracée en diagramme semi-logarithmique avec :

✓ En abscisse, le logarithme de la dimension des ouvertures des tamis en valeurs croissante.

✓ En ordonnée, le pourcentage, en poids du matériau total de la fraction du sable dont les grains ont un diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse correspondante (passant) on constate que la courbe granulométrique est un élément fondamental de classification du matériau.

Les résultats de cette étude permettent de prévoir certaines propriétés du matériau comme la perméabilité, l'aptitude au compactage et l'utilisation comme filtre.

Conduite de l'essai :

Prélever (**2** kg) de matériau (sable sec).

✓ Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit mi la masse du tamis.

✓ Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : **5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125** et éventuellement **0,08**mm. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.

✓ Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique, agité pendant **5** minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.

✓ Peser chaque tamis séparément à **1** g près. Soit Mi la masse du tamis (I) + le sable. La différence entre Mi et mi (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R1 du tamis1.

✓ Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.

✓ Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R1, soit R2 la masse du refus cumuler du tamis 2(R2=R1+Refus partiel sur tamis).

✓ Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés R3, R4, ….

Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante :**T= 100 - Rc**

Où :

✓ T: Tamisât en %

✓ R_C : Refus cumulés en %.



Figure II.2: les tamis.

Tableau II.6: Analysa granulométriques du sable de dune

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
3.15	608	1	0.067	99.93
2.5	602	3	0.2	99.8
1.25	507	31	2.067	97.93
0.63	499	93	6.2	93.8
0.315	462	398	26.53	73.47
0.160	266	1273	84.87	15.13
0.08	456	1461	97.4	2.6
Fond	452	1500	100	0

Tableau II.7: Analysa granulométriques du sable mixte 5 (20% concassée -80% de dune)

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
3.15	608	1	0.05	99.95
2.5	602	6	0.3	99.7
1.25	507	220	11	89
0.63	499	446	22.3	77.7
0.315	462	1285	64.25	35.75
0.160	266	1876	93.8	6.2
0.08	456	1989	99.45	0.55
Fond	452	2000	100	0

Tableau II.8: Analysa granulométriques du sable mixte 4 (40% concassée -60% de dune)

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
3.15	608	1	0.05	99.95
2.5	602	11	0.55	99.45
1.25	507	461	23.05	76.95
0.63	499	755	37.75	62.25
0.315	462	1383	69.15	30.85
0.160	266	1884	94.2	5.8
0.08	456	1986	99.3	0.7
Fond	452	2000	100	0

Tableau II.9: Analysa granulométriques du sable mixte 3 (50% concassée -50% de dune)

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
3.15	608	1	0.05	99.95
2.5	602	24	1.2	98.8
1.25	507	515	25.75	74.25
0.63	499	830	41.5	58.5
0.315	462	1356	67.8	32.2
0.160	266	1859	92.95	7.05
0.08	456	1959	97.95	2.05
Fond	452	2000	100	0

Tableau II.10: Analysa granulométriques du sable mixte 2 (60% concassée -40% de dune)

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
3.15	608	1	0.05	99.95
2.5	602	7	0.35	99.65
1.25	507	496	24.8	75.2
0.63	499	846	42.3	57.7
0.315	462	1335	66.75	33.25
0.160	266	1881	94.05	5.95
0.08	456	1989	99.45	0.55
Fond	452	2000	100	0

Tableau II.11: Analysa granulométriques du sable mixte 1 (80% concassée -20% de dune)

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
3.15	608	1	0.05	99.95
2.5	602	11	0.55	99.45
1.25	507	751	37.55	62.45
0.63	499	1138	56.9	43.1
0.315	462	1683	81.15	18.85
0.160	266	1909	95.45	4.55
0.08	456	1991	99.55	0.45
Fond	452	2000	100	0

Tableau II.12: Analyse granulométriques du sable concassé (100% concassée- 0 % de dune)

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
3.15	608	1	0.067	99.933
2.5	60	28	1.876	98.124
1.25	506	561	37.587	62.413
0.63	500	958	64.186	35.814
0.315	469	1223	81.941	18.059
0.160	278	1410	94.47	5.53
0.08	274	1487	99.629	0.371
Fond	451	1500	100	0

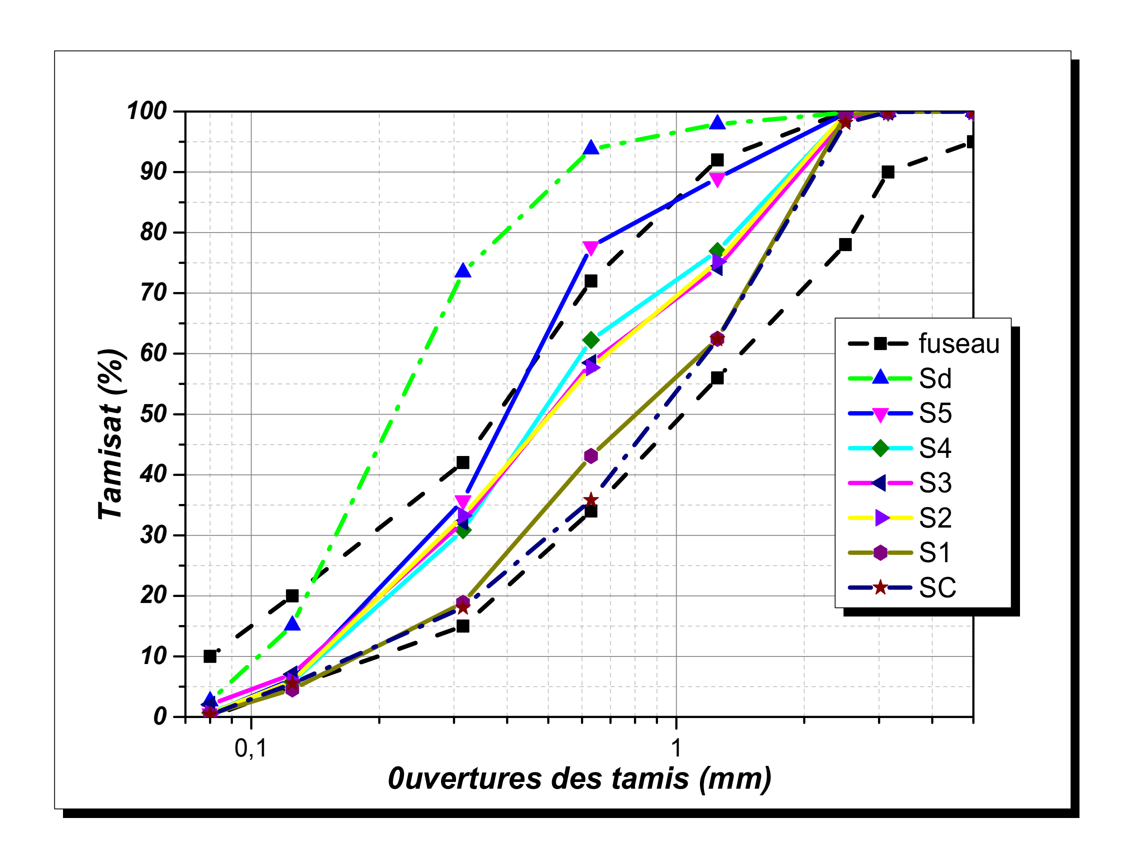


Figure II.3:Courbe granulométrique des sables étudiés

II.2.2.9. Module de finesse :

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles :

[0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 (mm)] sur **100** et calculé par la relation suivante :

$$M_f = \sum R_c/100$$

Où : R_c= Refus cumulé.

Les normes spécifient le module de finesse comme suite

- ✓ Sable gros $M_f > 2.5$
- ✓ Sable moyen $2 < M_f < 2.5$
- ✓ Sable fin $1.5 < M_f < 2$
- ✓ Sable très fin $1 < M_f < 1.5$

Tableau 13: Module de finesse

Sables	S_d	S_5	S_4	S_3	S_2	S_1	S_c
Module de finesse	1.199	1.917	2.248	2.293	2.283	2.717	2.801
Classification du sale mixte	Sable très fin	Sable fin	Sable moyen	Sable moyen	Sable moyen	Sable gros	Sable Gros

II.3. Gravier :

Les graviers utilisés proviennent de la station de concassage de Cosider à El-Euch (wilaya de Bordj-Bou-Arreridj). Dans cette investigation le micro béton est réalisé avec la fraction 3/8 mm .



Figure II.4: gravier issu de pierres concassées

II.3.1.3. Caractéristiques physiques du gravier utilisé:

- ✓ Masse volumique apparente :

Nous avons déterminé les masses volumiques apparentes et absolues des graviers conformément à la norme NA 255. Pour la détermination de la masse volumique absolue des graviers, nous avons utilisé la méthode de l'éprouvette graduée, qui est une méthode simple et rapide.

La fraction de gravier (3/8) a donnée des masses volumiques (apparente et absolue) qui répondent aux spécifications de la norme NF EN 12620. La masse volumique apparente est comprise entre 1300 kg/m^3 et 1600 kg/m3 et la masse volumique absolue est nettement plus élevée et est comprise entre

2500 kg/m^3 et 2700 kg/m^3. Les résultats des masses volumiques et de compacité, porosité et indice des vides réalisés, sont récapitulés sur le tableau 3.2.

Tableau II.14: Masse volumique apparente et absolue, Porosité,

compacités et indice des vides du gravier concassé

Masse volumique absolue (kg/l)	Masse volumique apparente (kg/l)	Porosité (P)%	Compacité (C)%	Indice des vides (e)
2.6	1.42	45.38	54.62	0.83

II.3.1.3.1.Masse volumiques apparente :

Mode opératoire :

- Sèche le matériau jusqu'au poids constant.

-Peser le récipient à l'état vide (M1)

-poser le récipient sur une table et à l'aide pelle remplir de gravier avec un certain excédent que l'on relevé au ras de la surface du récipient . La distance séparant le récipient de la pelle doit être aux environ de 10 cm.

-peser de nouveau le récipient plein de gravier. Soit M2 ce poids.

La masse volumique apparente est déterminer par la formule

suivante : $\gamma = \frac{M_2 - M_1}{V}$

Ou :

V : Volume du récipient.

M_1: Le poids du récipient à l'état vide .

M_2: Le poids du récipient plrin de gravier.

Tableau II.15 : Masse volumique apparente du gravier.

Gravier	N° d'essai	$M_1(g)$	$M_2(g)$	ρ_{app} (kg/l)	ρ_{app} (kg/l)
3/8 V = 7 L	01	2921	12836	1.42	1.42
	02	2921	12844	1.42	
	03	2921	12896	1.425	

II.3.1.3.2. Masse volumique absolue :

Mode opératoire:

Le mode opératoire est le même que l'on utilise pour la masse volumique absolue du sable.

Tableau III.16 :Masse volumique absolue du gravier.

Gravier	N° d'essai	M (g)	$V_e\ (cm^3)$	V_1 (cm^3)	ρ_{abs} (g/cm^3)	ρ_{moy} (g/cm^3)
3/8	01	50	400	420	2.5	2.6
	02	80	400	450	2.6	
	03	100	400	484	2.34	

II.3.1.3.3. La densité absolue :

La densité est le rapport entre la masse volumique absolue du matériau et la masse volumique de l'eau .

Les résultats sont regroupée dans le tableau suivant :

Tableau II.17 : La densité du gravier.

Les fraction	Gravier 3/8
Densité normal	2.71
Densité SSS	2.73

II.3.1.3.4. Porosité, compacité et indice des vides : Nf P 18-554

Le mode opératoire est semblé à celui effectue pour le sable.

On calcule la porosité selon la formule :

$$P\ (\%) = [1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}] \times 100$$

La compacité donnée par la formule:

C = (ρ_a / ρ_{ab})= 100-P

L'indice des vides est donnée par la formule :

$$e = \frac{p}{(100 - p)}$$

Tableau II.18: Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.

Fraction de gravier	Porosité (%)	Compacité (%)	L'indice de vide
3/8	45.38	54.62	0.83

II.3.1.3.5.Degré d'absorption d'eau : NF P 18-554

Tableau II.19 : Degré d'absorption d'eau du gravier.

Gravier	**N° d'essai**	M_1(g)	M_2(g)	**A(%)**	A_{moy} (%)
3/8	**01**	**600**	**609.06**	**1.51**	**1.52**
	02	**600**	**609.77**	**1.63**	
	03	**600**	**608.53**	**1.42**	

II.3.1.3.6. Teneur en eau :

Tableau II.20 : teneur en eau du gravier.

Gravier	**N° d'essai**	M_1(g)	M_2(g)	**W(%)**	W_{moy} (%)
3/8	**01**	**500**	**495**	**1**	**0.78**
	02	**500**	**497**	**0.6**	
	03	**500**	**496.3**	**0.74**	

II.3.1.3.7.Analyse granulométrique :

Les résultats obtenue chaque fraction du gravier , sont regroupée dans les tableaux ci-dessous :

a)- Fraction 3/8 (1500 Kg)

Tableau II.21: Analyse granulométrique du gravier 3/8.

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât
		(g)	(%)	(%)
8	638,6	2,4	0,16	99,81
6,3	638,2	148,4	9,89	90,11
5	625,2	603,1	40,2	59,8
4	602,6	1225,2	81,68	18,32
3,15	604,4	1392,2	92,81	7,19
fond	451,4	1500	100	0

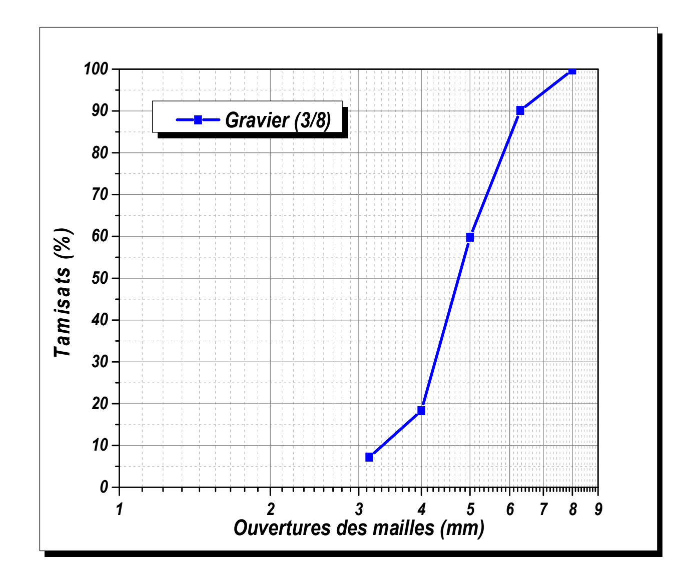


Figure II.5 : courbe granulométrique du gravier 3/8.

II.4. CIMENT :

Pour cette étude nous avons utilisé un ciment portland CPJ-CEM I 42,5 provenant de la cimenterie LAVARGE à M'sila. La composition chimique de ciment est présentée dans le tableau suivant:

Tableau II.22. Composition chimique et minéralogique du ciment (%)

ELEMENT	SiO2	AL2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	Na2O	K2O	CL	L.O.I
Teneur (%)	21.36	4.98	3.63	65.86	2.06	0.93	0.08	0.77	0.02	2.48

Tableau II.23. Propriétés physico – mécaniques du ciment

Surface spécifique Blaine (cm2/g)	3917
Consistance (%)	27.48
Début de prise (mn)	140
Fin de prise (mn)	203
MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE (Kg/m3)	3100
MASSE VOLUMIQUE APPARENTE(Kg/m3)	1130

II.5. L'EAU DE GACHAGE :

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable du laboratoire de département de génie civil.

II.6.LES ADJUVANTS :

Un adjuvant est un produit qui s'incorpore au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égal à 5 % en masse du poids de ciment, à améliore les propriété du mélange à l'état frais et ou du béton durci , (norme NF P934 - 2).

Dans notre on a utilisé les super-plastifiants à savoir MEDALAST SP 40 de GRANITEX 5super-plastifiant).

II.7.POUDRE DE MARBRER:

II.7.1 Essais physiques effectués :

II.7.1.1 Masse volumique:

a) **Masse volumique absolue :** ***Norme NF P 18-555***

Cet essai est régie par la ***norme NF P18-555***, elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains.

La masse volumique est donnée par la relation **:**

$\rho_s = M_s/V$

Conduite de l'essai :

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1d'eau.

- Peser un échantillon sec **Ms** de granulats (environ 100g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.

- Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V_2.

La masse volumique est alors : $\rho_s = M_S/(V_2 - V_1)$

b) Masse volumiques apparente : NF P 18-554

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

$$\rho_a = M / V_a$$

L'essai est répété 3 fois pour un volume de 1 litre et la moyenne de ces essais donne la valeur.

Les résultats des essais de la masse volumique apparente ρa et la masse volumique absolue ρs du sable sont regroupées dans le tableau II.2

c) Porosité : (NF P 18-554)

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la relation suivante :

P (%)=100-(Masse volumique apparente / masse volumique absolue) $\times$100.



Figure II.6: poudre de marbre

Tableau II.24. Les caractéristiques physiques de poudre de marbrer

Les caractéristique	**5 %**	**8 %**	**12 %**	**16 %**
La masse volumique absolue	**2.54**	**2.54**	**2.62**	**2.5**
La masse volumique apparente	1.67	1.706	1.709	1.68
La porosité	34.25	39.37	34.77	32.8

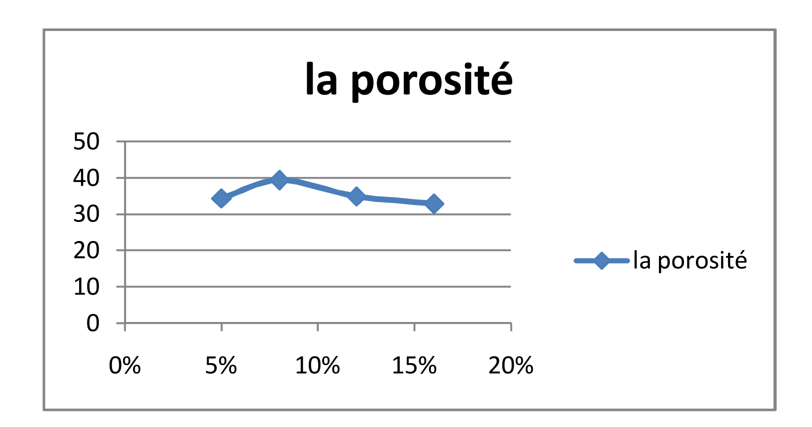


Figure II.7: La courbe de la porosité

Conclusion :

A la fin de ce chapitre en peu dire que les sables qu'on vas utiliser ont présenté des caractéristiques proches; sauf la finesse qui est le paramètre le plus intéressant dans la confection de béton , nous nous attendront que cette différence de finesse vas influer sur le comportement rhéologique des bétons et par conséquent sur le comportement à l'état durci

Chapitre III

Les Résultats

CHIII : Les Résultats

III.1.Introduction

Ce chapitre est consacre à la présentation des résultats obtenue sous forme des tableaux et des graphes ou toute les propriétés physico mécaniques étudier est mentionnées précédemment seront analysées et interprétés.

III.2. Présentation des résultats :

Les résultats obtenus dans cette étude sont regrouper dont les tableaux et transformer ce forme des graphes représente les différents propriétés en fonction de différents pourcentage des sables mixtes en présence d'un pourcentage fixe de poudre de marbre (16 %) et d'un pourcentage fixe de l'adjuvant MEDAPLAST SP 40 (1 %).

Les propriétés à étudier ont été classées dans deux catégories :

- les propriétés physiques

- les propriétés mécaniques

Pour facilité la lecture et la comparaison des tableaux contenant les résultats obtenues pour chaque groupe des différents caractéristiques des Micro béton témoin et des micro béton confectionner a base des sables mixte avec un pourcentage fixe de poudre de marbre et d'adjuvant.

III.3. La masse volumique du micro béton :

La masse volumique du béton représente l'une des caractéristiques les plus importantes dans le cadre de la présente recherche. La réduction de la masse volumique est rendue possible en changeant le type de granulat et en faisant varier les proportions des différents constituants.

On détermine la masse volumique en pesant l'éprouvette. La masse volumique est donnée par la relation suivant :

$$\rho = \frac{M}{v}$$

Ou :

-M: masse de l'éprouvette

-V : volume des l'éprouvette.

Les résultats sont regroupés dans les trois tableaux suivants.

A : sable mixte (50 % sable concassée et 50% sable de dune).

B : sable mixte (60 % sable concassée et 40 % sable de dune).

C : sable mixte (40 % sable concassée et 60 % sable de dune).

Tableau III.1. 0 % adjuvant et 0% poudre de marbre.

Sable Mixte	éprouvettes	Masse volumique (kg/L)			
		ρ_1	ρ_{14}	ρ_{21}	ρ_{28}
A	1	2.1	2.351	2.373	2.383
	2	2.05	2.302	2.323	2.333
	3	2.011	2.263	2.282	2.294
	ρ_{moy}	2.053	2.305	2.326	2.336
B	1	2.102	2.344	2.354	2.384
	2	2.109	2.350	2.361	2.392
	3	2.085	2.323	2.337	2.368
	ρ_{moy}	2.098	2.339	2.350	2.381
C	1	2.118	2.299	2.370	2.373
	2	2.051	2.333	2.303	2.302
	3	2.113	2.396	2.364	2.367
	ρ_{moy}	2.094	2.342	2.345	2.347

Tableau III.2. 0 % adjuvant et 16 % poudre de marbre

Sable Mixte	éprouvettes	Masse volumique (kg/L)			
		ρ_1	ρ_7	ρ_{14}	ρ_{28}
A	1	2.337	2.365	2.371	2.371
	2	2.380	2.356	2.361	2.362
	3	2.331	2.407	2.413	2.414
	ρ_{moy}	2.349	2.376	2.381	2.382
	1	2.376	2.403	2.407	2.408
	2	2.378	2.405	2.411	2.411

B	3	2.399	2.425	2.432	2.432
	ρ_{moy}	2.384	2.411	2.416	2.417
C	1	2.339	2.390	2.397	2.397
	2	2.377	2.426	2.433	2.484
	3	2.380	2.429	2.437	2.437
	ρ_{moy}	2.365	2.415	2.419	2.422

Tableau III.3. 16 % poudre de marbre et 1% adjuvant:

Sable Mixte	éprouvettes	Masse volumique (kg/L)			
		ρ_1	ρ_7	ρ_{14}	ρ_{28}
A	1	2.345	2.375	2.370	2.376
	2	2.271	2.299	2.294	2.300
	3	2.328	2.351	2.347	2.352
	ρ_{moy}	2.314	2.330	2.337	2.343
B	1	2.335	2.361	2.366	2.366
	2	2.321	2.345	2.350	2.350
	3	2.314	2.338	2.342	2.341
	ρ_{moy}	2.323	2.348	2.353	2.352
C	1	2.366	2.385	2.389	2.391
	2	2.340	2.359	2.364	2.365
	3	2.372	2.392	2.395	2.396
	ρ_{moy}	2.359	2.380	2.382	2.384

III.4. La fluidité (l'affaissement et quantité d'eau ajoutée) :

On rappelle que la fluidité ou l'éprouvette est la quantité d'un micro béton qui permet sa maniabilité en conservant son homogénéité.

Pour l'étude de l'influence du pourcentage du sable concassée ajoutée sur la fluidité du micro béton fais on opter de maintenir une fluidité plus au moins constante et analyser la quantité d'eau de gâchage.

Le tableau suivant représente les quantités d'eau ajoutée pour avoir l'affaissement souhaité dans les différentes compositions du micro béton étudié à base à sable mixte.

Tableau III.4. 0 % poudre de marbre + 0 % adjuvant.

Sable mixte	L'affaissement Obtenue (cm)	Quantité d'eau L/m^3	Quantité d'eau ajouté L	Quantité d'eau totale L/m3	Ciment Kg/m3	E/C
A	6	220	20	240	450.06	0.53
B	6	220	40	260	450.06	0.57
C	6	220	40	260	450.06	0.57

Tableau III.5. 16 % poudre de marbre +0 % adjuvant.

Sable mixte	L'affaissement Obtenue (cm)	Quantité d'eau L/m3	Quantité d'eau ajoutée	Quantité d'eau totale L/m3	Ciment Kg/m3	E/C
A	6	220	26.54	246.54	450.06	0.55
B	6	220	35.22	255.22	450.06	0.57
C	6	220	35.22	255.22	450.06	0.57

Tableau III.6. 1% adjuvant+16% poudre de marbre.

Sable mixte	L'affaissement Obtenue (cm)	Quantité d'eau L/m^3	Quantité d'eau ajoutée	Quantité d'eau totale L/m3	Ciment Kg/m3	E/C
A	6	220	0	220	450.06	0.48
B	6	220	9.7	229.7	450.06	0.51
C	6	220	10.21	230.21	450.06	0.51

III.5. L'Absorption :

De nombreuses recherches montrent que l'eau est un des constituants les plus sensibles affectant les propriétés du béton. Ceci est confirmé physiquement par plusieurs rôles importants joués par l'eau: l'hydratation des grains de ciment, plasticité du béton à l'état frais et cohésion interne du béton frais . L'excès d'eau dans le béton peut s'accompagner d'effets secondaires préjudiciables à la qualité du béton.

Cet essai mesure le taux d'absorption de l'eau des éprouvettes de micro-béton saturées 10 * 10 * $10cm^3$ seront prés conditionnés dans l'étuve à environ 105 C jusqu'a une masse constante.

Après ça on les place dans un bac contenant de l'eau, on les laisse dans l'eau 24 heures.

Après les 24 heures on prend les demi éprouvettes de l'eau, on les laisse 20 minute après on mesure l'absorption.

$W(\%) = [(Mh - Ms)/Ms]$ * 100

Ou :

Mh : la masse de l'éprouvette contenue d'eau absorbée.

Ms : la masse de l'éprouvette sec (après l'étuve pendant 24 h à 105)

Tableau III.7. 0 % adjuvant et 0% poudre de marbre.

Le temps	14 Jours						21 jours						28 jours			
Béton	A		B		C		A		B		C		A		B	
La masse d'échantillon (g)	m_s	m_h	m_h	m_h	m_s	m_h	m_s	m_h	m_s	m_h	m_s	m_h	m_s	m_h	m_s	r
La moyenne (g)	0.091	0.098	0.120	0.127	0.123	0.126	0.056	0.058	0.111	0.114	0.078	0.080	0.085	0.087	0.113	0.
L'absorption (%)	7.69		5.51		2.38		3.57		2.70		2.56		2.35		1.77	

Tableau III.8. 0 % adjuvant et 16% poudre de marbre.

Le temps	7 Jours						14 jours						28 jours			
Béton	A		B		C		A		B		C		A		B	
La masse d'échantillon (g)	m_s	m_h	m_h	m_h	m_s	m_h	m_s	m_h	m_s	m_h	m_s	m_h	m_s	m_h	m_s	r
La moyenne	0.146	0.148	0.245	0.247	0.184	0.189	0.190	0.193	0.126	0.128	0.125	0.128	0.257	0.266	0.099	0.

(g)																
L'absorption (%)	1.37		0.82		2.72		1.6		1.59		2.4		3.5%		5.05	

Tableau III.9. 1% adjuvant et 16% poudre de marbre.

Le temps	7 Jours						14 jours						28 jours			
Béton	A		B		C		A		B		C		A		B	
La masse d'échantillon (g)	m_s	m_h	m_h	m_h	m_s	m_h	m_s	m_h	m_s	m_h	m_s	m_h	m_s	m_h	m_s	r
La moyenne (g)	0.155	0.159	0.138	0.141	0.156	0.160	0.128	0.134	0.104	0.113	0.152	0.170	0.138	0.144	0.228	0.
L'absorption (%)	2.51		2.13		2.05		4.47		7.96		10.6		4.34		4.38	

III.6. Résultats d'essai de compression :

La résistance mécanique d'un béton est primordiale pour assurer la stabilité d'un ouvrage. Afin de vérifier comment les additions affectent ce paramètre, des essais en compression sur cube ont été effectués à 28j sur l'ensemble des mélanges projetés.

Avant les essais, les éprouvettes seront exposés à l'air libre pendant au moins 20 minute pour qu'elles acquiescèrent l'état normal humidité.

La résistance à la compression est donnée par la relation suivante:

$$R_c = \frac{Px10}{S} \text{ (N/}mm^2\text{)}$$

Ou :

R_c: Résistance à la compression.

P: Charge de rupture

S : Section de l'éprouvette

Les essais de résistance à la compression se font à l'âge de 7j, 14j, 28j.

B1 : micro béton a base de sable mixte (50 % sable concassée et 50% sable de dune).

B2: micro béton a base de sable mixte (60 % sable concassée et 40 % sable de dune).

B3: micro béton a base de sable mixte (40 % sable concassée et 60 % sable de dune)

Tableau III.10. La résistance (0 % l'adjuvant et 0 % poudre de marbre)

	Résistance en compression (MPa)		
Bélon	14 jours	21 jours	28 jours
A	34.57	33.35	39.54
B	33.18	37.96	35.67
C	35.95	38.94	37.79

Tableau III.11. La résistance (0 % l'adjuvant et 16 % poudre de marbre)

	Résistance en compression (MPa)		
Béton	7 jours	14 jours	28 jours
A	33.68	28.92	39,37
B	22.33	33.45	38,45
C	24.35	35.10	37,12

Tableau III.12. La résistance (1 % l'adjuvant et 16 % poudre de marbre)

	Résistance en compression (MPa)		
Béton	7 jours	14 jours	28 jours
A	36.05	39.24	47.05
B	31.94	35.88	46.08
C	29.90	43.08	42.08

III.7. Discussion des résultats obtenus :

La discussion des résultats obtenus est présentée selon les étapes suivantes :

a) Masse volumique

b) Absorption

c) Rapport E/C

d) Résistance en compression

a) Masse volumique :

D'après les résultats obtenus et présentés aux tableaux ci-dessus et illustrés sur la figure III.1, on remarque que la masse volumique accuse un faible accroissement dans le temps pour toute mixture de sable utilisées dans le micro-béton.

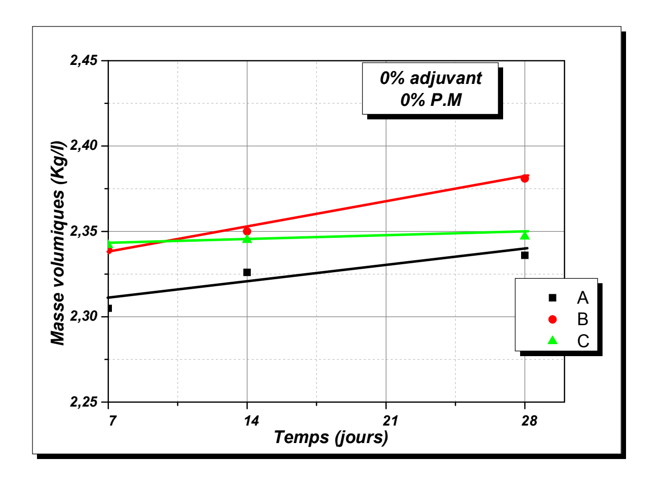


Figure III.1. Evolution de la masse volumique dans le temps

pour le micro-béton témoin

La figure III.2 montre, une légère amélioration pour le micro béton à base du sable mixte (40%SC et 60% S de dune) par rapport au micro-béton à base du sable mixte (60%SC et 40% S de dune), une nette amélioration de la masse volumique des micro-bétons à base des sables mixtes B et C par rapport au micro –béton à base du sable mixte A , l'ajout de 16% de PM est engendré par une hausse de la masse volumique pour les micro-bétons à base des sable mixte B et C du au remplissage des pores existant entre grains.

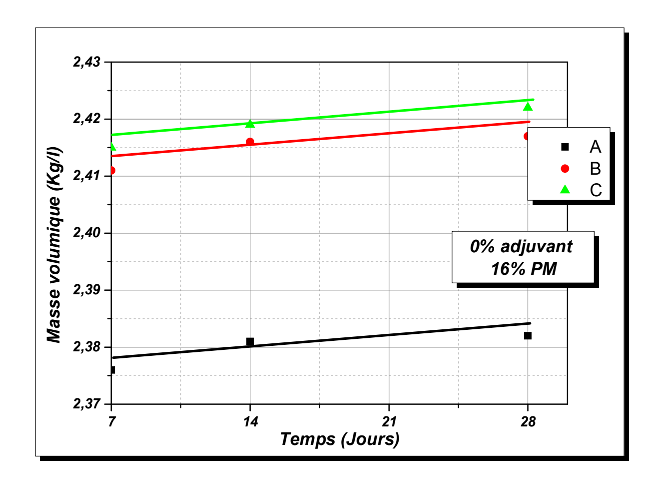


Figure III.2. Evolution de la masse volumique dans le temps

pour le micro-béton avec (0%adjuvant, 16%PM)

La figure III.3 montre que l'incorporation de 1%d'adjuvant avec l'ajout de 16% de PM permet toujours une amélioration de la masse volumique de tous les micro-bétons (pour tous les sables mixtes utilisés).

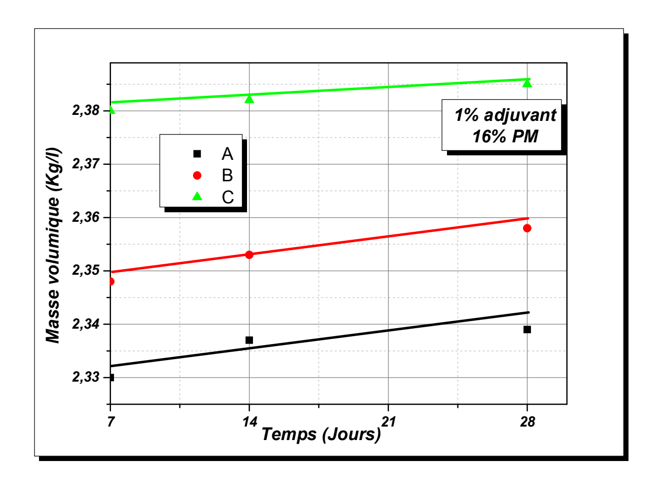


Figure III.3. Evolution de la masse volumique dans le temps

pour le micro-béton avec (1%adjuvant, 16%PM)

b) Absorption d'eau :

D'après la figure III.4, on constate que pour le micro-béton sans PM l'absorption est minimale pour toute mixture de sable (A,B,C) comme il est visible sur l'histogramme la mixture B présente la plus faible absorption sans ajouts(adjuvant, PM), mais l'introduction de 16% de poudre de marbre fait augmenter l'absorption du micro-béton et surtout pour le micro-béton à base du sable mixte B, comme on constate que l'introduction de l'adjuvant n'a pas un grand effet sur la réduction du coefficient d'absorption d'eau du micro-béton.

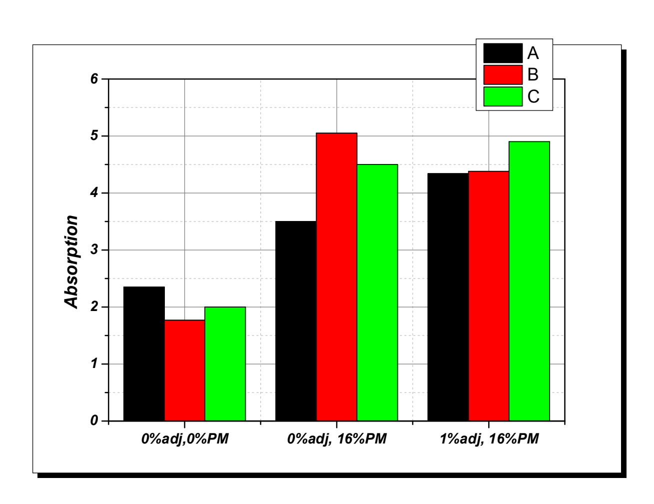


Figure III.4. Absorption du micro-béton en fonction de l'adjuvant et PM

c) Rapport E/C :

La figure III.5, montre que le rapport E/C est presque constant sans ajout d'adjuvant, comme on remarque que le micro-béton à base du sable mixte A présente un rapport E/C toujours inférieur ceux des micro-bétons à base des sables mixtes B et C, mais l'introduction de l'adjuvant réduit le rapport E/C.

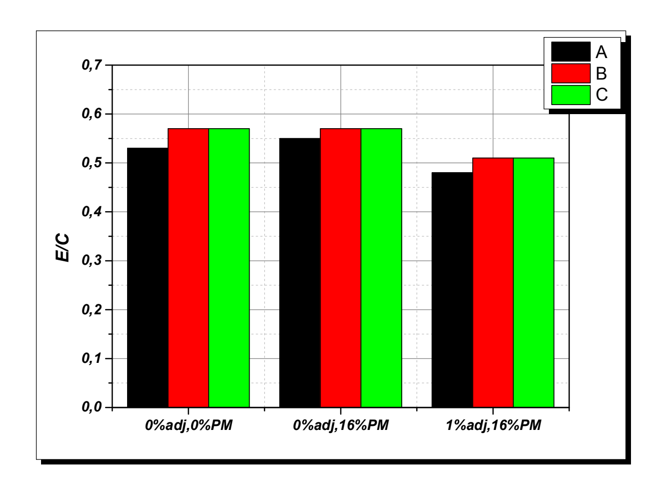


Figure III.5. Rapport E/C en fonction d'ajout d'adjuvant et de PM

La figure III.6 montre que, que l'ajout du sable concassé est engendré par une hausse du rapport E/C ce la est du à la nature calcaire du sable concassé qui absorbe de l'eau, comme on remarque que l'ajout de 16% de PM n'a pas d'influence sur le rapport E/C, mais l'ajout de l'adjuvat a réduit le rapport E/C pour tous les micro-bétons.

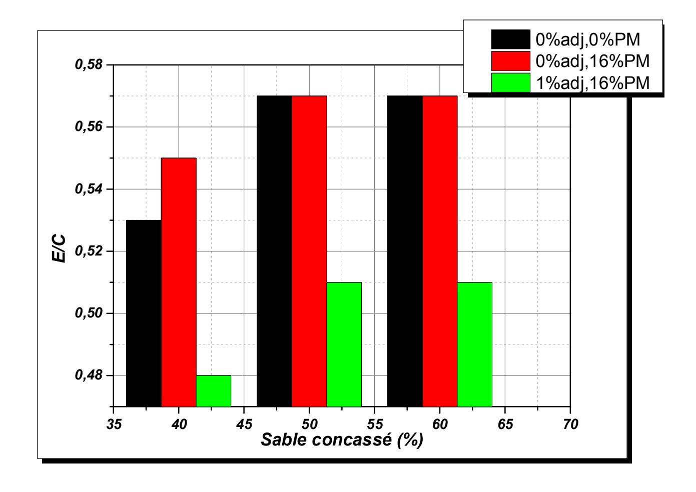


Figure III.6. Rapport E/C en fonction du sable concassé

d) Résistance en compression :

On constate sur la figure III.7, que l'ajout de la PM est suivit par une baisse de la résistance à la compression du micro-béton à base de toute mixture, et l'introduction de l'adjuvant apporte une amélioration pour le micro-béton à base de toute mixture.

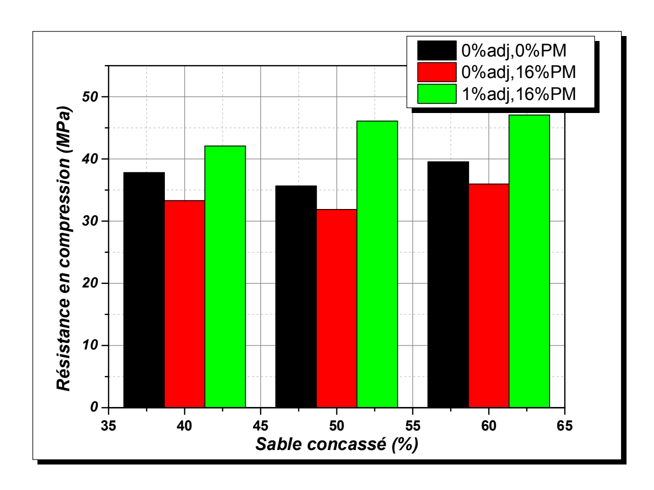


Figure III.7. Résistance mécanique de compression

en fonction du sable concassé

On remarque sur la figure III.8, que le sable mixte A donne la meilleur résistance à la compression du micro-béton avec ou sans ajout d'adjuvant et de poudre de marbre (PM) , mais il reste toujours vrais que l(ajout de la poudre de marbre est suivis par une baisse de résistance en compression et l'introduction de l'adjuvant est toujours engendré par une amélioration de la résistance en compression du micro-béton.

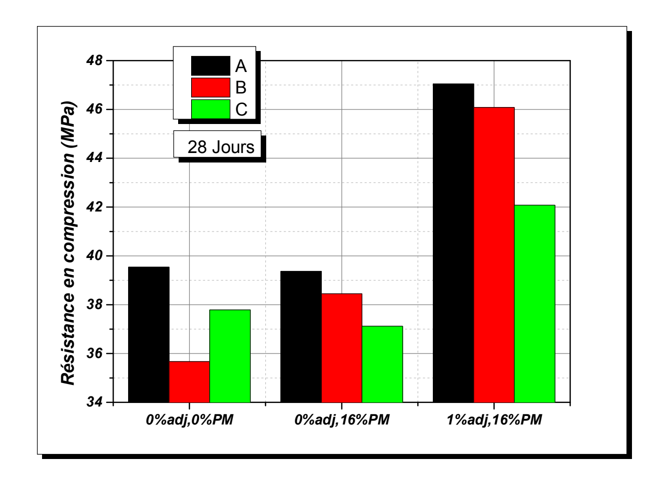


Figure III.8. Résistance mécanique de compression

en fonction d'adjuvant et PM

Conclusion :

L'ajout de la poudre de marbre a réduit la porosité du sable mixte, mais on constate qu'elle est engendrée par une faible réduction de la résistance en compression et que l'incorporation d'un adjuvant peut remédier et améliorer la résistance pour cette raison on peut valoriser le recyclage de la poudre de marbre dans la confection du micro béton ainsi on participe à la préservation de l'environnement.

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre travail consiste à améliorer les caractéristiques du sable de dune qui possède une géométrie bien arrondie qui engendre une porosité élevée et une cohésion entre grains assez faible et un état de surface lisse qui diminue l'adhérence grain- pate ciment qui présente une granulométrie assez loin de la norme, pour tous ces inconvénients le traitement du sable de dune par du sable concassé est souhaitée car se dernier présente une géométrie anguleuse qui permet une bonne cohésion entre grains et un état de surface rugueux qui permet une meilleur adhérence pate ciment-grains ainsi la résistance est améliorée. En plus de l'amélioration des caractéristiques physiques et mécanique du micro-béton cette investigation nous a permis de valoriser les matériaux locaux (déchet de concassage des roches des carrières et la poudre de marbre issue du façonnage du marbre), ce qui nous permet de contribuer positivement à la préservation de l'environnement.

Ce travail expérimental a conduit aux résultats suivants :

L'ajoute du 40% sable concassé à améliorer le squelette du micro-béton et à donner une compacité optimale (minimisation des vides et pores entre grains) et l'obtention d'une masse volumique supérieure à (2.422 g/cm3) et 0 % adjuvant et 16 % poudre de marbrer.

L'ajoute du 50% sable concassé à améliorer le squelette du micro-béton et à donner une compacité optimale (minimisation des vides et pores entre grains) et l'obtention d'une la fluidité E/C = 0.48 et 1 % adjuvant et 16 % poudre de marbrer.

L'ajoute du 40 % sable concassé à améliorer le squelette du micro-béton et à donner une compacité optimale (minimisation des vides et pores entre grains) et l'obtention d'une la L'absorption 10.6 % et 1 % adjuvant et 16 % poudre de marbrer.

L'ajout du 50% sable concassé a permet un gain de résistance supérieur à (59.5 MPa) de résistance à la traction par flexion et 47.05 MPa de résistance à la compression).

La résistance à la compression et à la traction par flexion diminue avec l'augmentation du rapport E/C et aussi avec l'augmentation de la porosité.

La quantité d'eau utilisée dans la formulation du micro-béton augmente avec l'augmentation de la porosité.

1% d'adjuvant a permet de réduire la quantité d'eau de gâchage et améliore la résistance mécanique.

Recommandations et perspectives :

A la lumière des conclusions rapportées précédemment, pour obtenir un micro-béton de qualité il est recommandé d'utiliser :

Un sable mixte composé de 50% de sable de dune et 50% de sable concassé avec un dosage de 1% d'adjuvant et 16 % de poudre de marbrer, et pour future travaux on propose d'étudier la durabilité de ce micro-béton avec ajout de fumée de silice.

Référence bibliographique

[1] KETTAB.R, valorisation du sable de dune . thèse de doctorat ENP 2007.

[2] HACHEMI Nadir BOUSSA Adel, Etude influence des différents granulométriques du sables sur le comportement mécanique du béton. Option Génie civil matériaux. Université MHAMED BOUGARA BOUMERDES 2017.

[3] AHMED Faycel, Conception d'un béton destine aux ouvrages hydrotechniques. Master Hydraulique. Option : aménagement des ouvrages Hydrotechniques. Ecole Nationales supérieur d'hydraulique ARBAOUI Abdellah.

[4] BELKHIR Zakaria DEFAF Noureddine Noureddine, Micro béton adjuvanté au ciment blanc avec polystyrène. Master II. Soutenue Le 01/06/2017 Université MOUHAMED BOUDIAF-M'SILA 2017.

[5] 17-BLIZAK Ahmed Khalil, Influence de sable mixte sur les propriété du micro béton au ciment blanc. Master II. Université de M'sila 2016.

[6] BOUHNIK Brahim, contribution a la valorisation du sable de dune dans la formulation du béton destine ouvrage hydraulique en milieux Sahariens. Département hydraulique et génié civil. Mémoire Magister soutenue Le 14/02/2007. Université KASDI MERBAH OUARGLA.

[7] LCPC par de Larrard et Sedran .

[8] DALI YOUCEF Souhila, Démarche qualité dans la formulation des béton par la méthodes taguchi. Option : Ingénieur des structure. Soutenue Le 12/06/2017 Devant les jury Université ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN.

[9] BOUFEDAH BADISSI Ahmed, Influence de granulats (classe granulaire 4/2.4) sur les caractéristiques des granulats et sur les propriété des béton ordinaire. Mémoire de Magister

Option : structure-matériaux - sols. Université MENTOURI CONSTANTINE Janvier 2011.

[10] DJEMIL Imed Eedine, Etude des influence du rapport G/S sur la résistance de micro béton à base de sable mixte. mémoire de master spécialité génie civil- Option matériaux. université M'sila 2016.

[11] BARAKAT.A, Cour de carrière et de construction. LST Géo ressources et LST Géomatique. Université SULTAN MOULAY SLIMANE.

[12] HOLCIM. SA, Concevoire et mettre en œuvre des bétons durables. Guide pratique du béton. (francaise édition suisse) Janvier 2015.

[13] Chapitre 2, Les granulats pour béton.

[14] AYADI Walid Abdelghani GUENOUNE Abdelmelk, Valorisation des sables locaux dans la formulation de béton ordinaire. Faculté des science de l'ingénieur. Université MAHAMED BOUGARA BOUMERDS 2016.

[15] BENDDADA Sabrina BENATSOU Nacira, Etude à la compression d'un béton auto plaçant avec addition minérale (Argile cuite et broyée et Filler calcaire). Master génie civil.Université ABDERAHMANE MIRA - BEJAIA .2012.

[16] BENGHAZI.Z, Le ciment cour technologie des Géo matériaux.

[17] La norme européenne EN 934-2 Adjuvants pour béton, mortier et coulis - Adjuvants pour béton - Partie 2.

[18] [DUPAIN R, LANCHON R, SAINT-ARROMAN J.C.(2000); Granulats, sols, ciments et bétons, Edition Casteilla, Paris, 236 p.

[19] BENACHOUR Yacine, Analyse de l'influence de l'ajout de taux élevé de fillers calcaires sur les propriétés physiques, mécaniques, microstructurales, de transfert et de durabilité des mortiers. thèse de Doctorat en Sciences en Génie Civil Option : Matériaux. Soutenu le 21 / 04 / 2009, page 21.

[20] BELHOCINE. A - NAGOUDI N, Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux**.** M.F.E en vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil. Soutenu en 2014. Université KASDI Merbah – Ouargla, . page 17l.

[21] https://fr.wikipedia.org/wiki/Marbre#D.C3.A9finition

[22] De Larard, 1988, Pala, et all 2007, Yogendran et all, 1987.

[23] https://fr. wikipedia.org/wiki/Sable. photo.

[24] AGOUMIMELCHA Ahmed OUANNOUGHI Billal, Formulation et caractérisation d'un béton léger à base de granulate obtenue par récyclage des boues de barrage. Mémoire Master. Option science des matériaux pour la construction durable. Université M'HAMED BOUGARA BOUMERDES 2017.

[25] SERIFOU MAMERY, Béton à base de recycles influence de type de recycles et role de la formulation . Theme de doctorat. Option Géomatériaux. Soutenue Le : 23 December 2013. Université BOUBDEAUX .

[26] Julie ARMENGAUD, OPTIMISATION DES PROPRIETES DES BETONS PROJETES PAR VOIE SECHE. École doctorale et discipline ou spécialité : ED MEGEP : Génie civil. Soutenue Le : vendredi 9 décembre 2016. Université de Cergy-Pontoise Sébastien REMOND.